

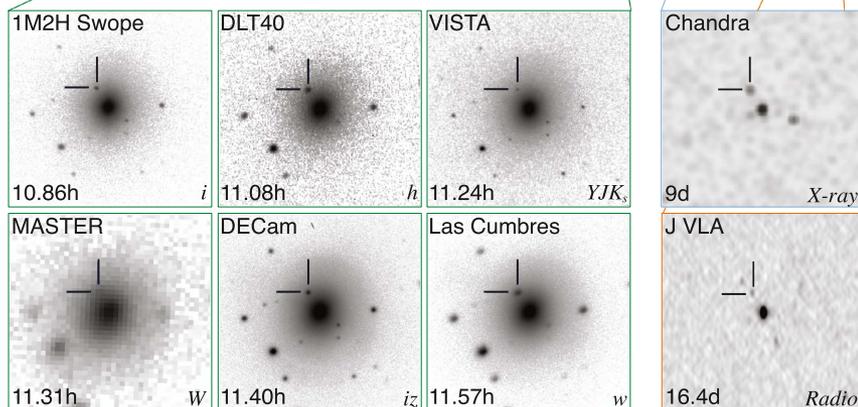
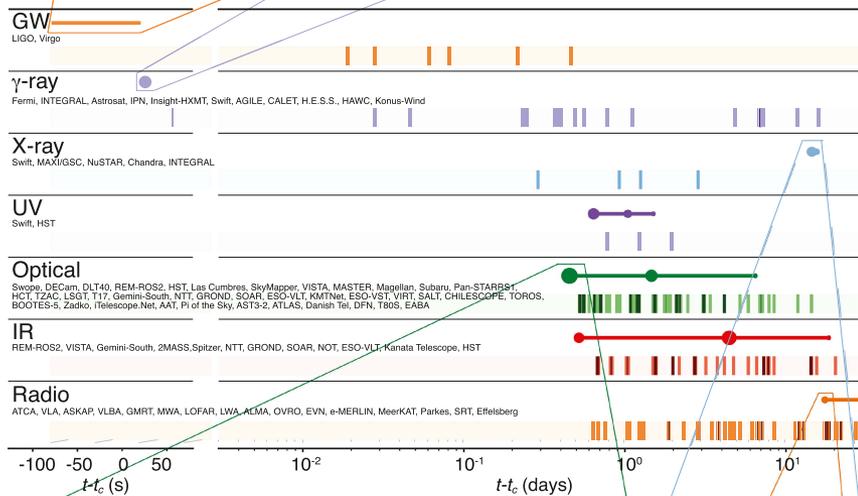
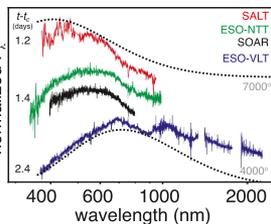
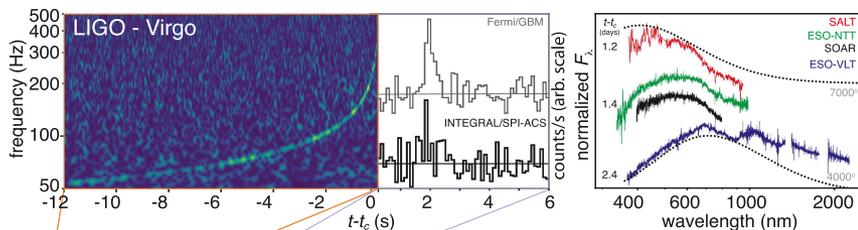
# Is the Macronova / Kilonova in GW170817 Powered by the Central Engine?

京都大学 天体核研究室 *D3*

松本達矢

Collaborators :  
井岡邦仁 (京大基研),  
木坂将大 (青山学院大),  
Ehud Nakar (Tel Aviv大)

# GW170817: 連星中性子性合体



重力波検出!!

~ 2s: ガンマ線

~ day-week: 可視・赤外線

> 10days: X線・電波

NS合体 = sGRB?

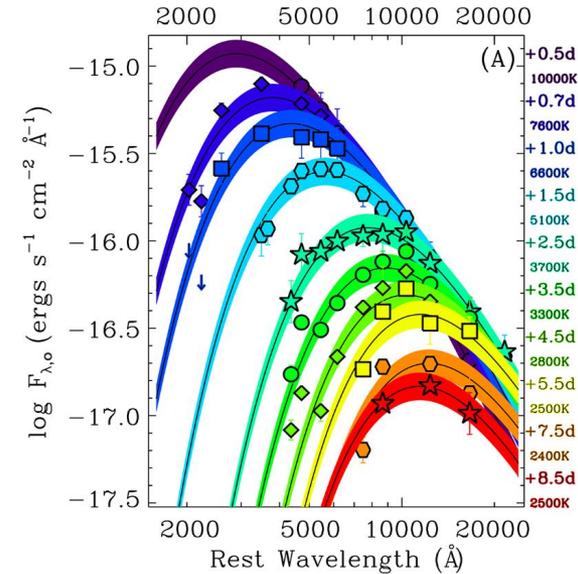
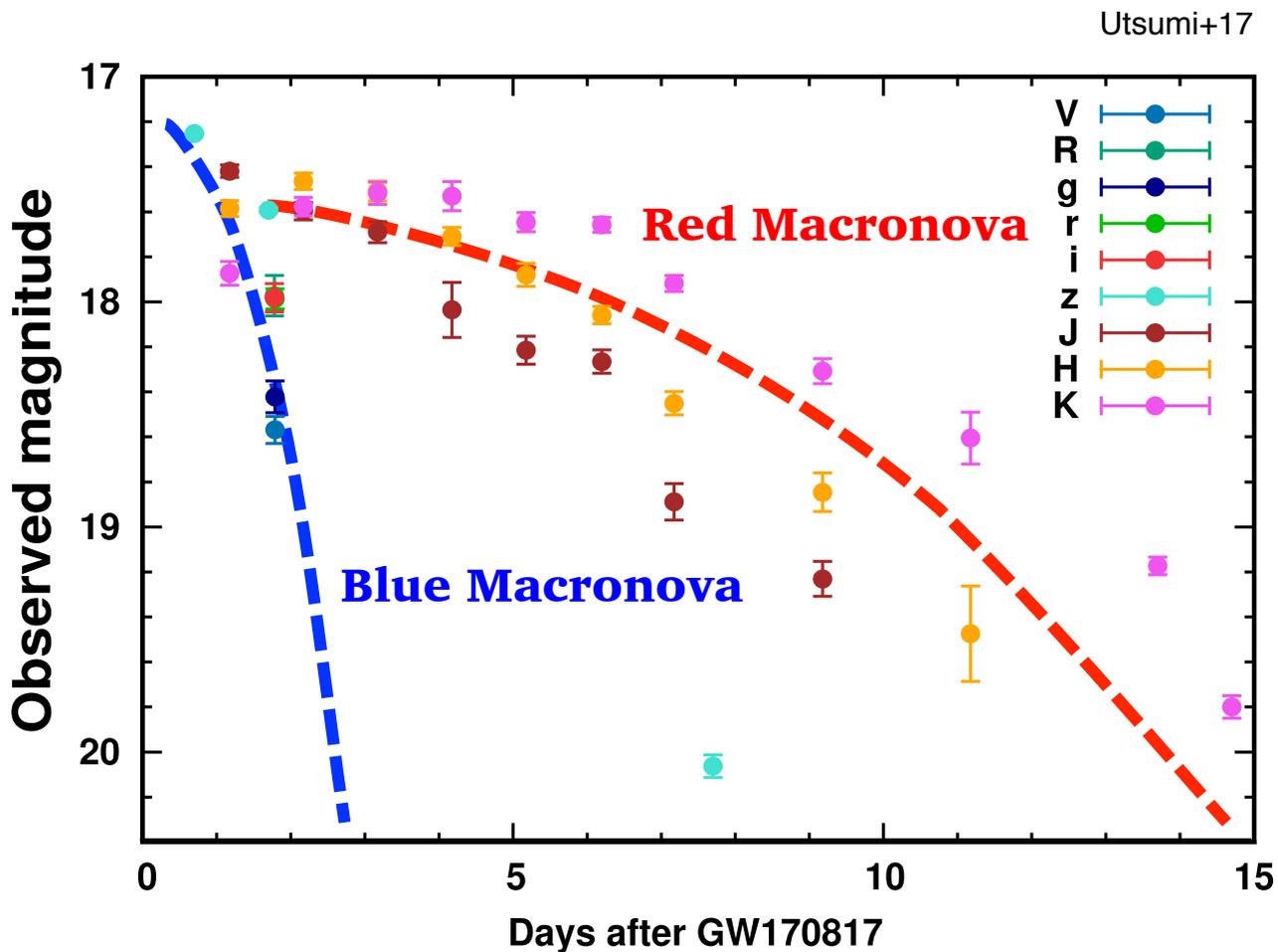
重元素合成の現場?

☆この時代に生まれてよかった

可視・近赤外 対応天体

= **Macronova / Kilonova**

Drout+17



Blue MN (~1day)

$L \sim 7 \times 10^{41}$  erg/s,  $T \sim 7000$  K

$\Rightarrow v \sim 0.3c$

Red MN (~10day)

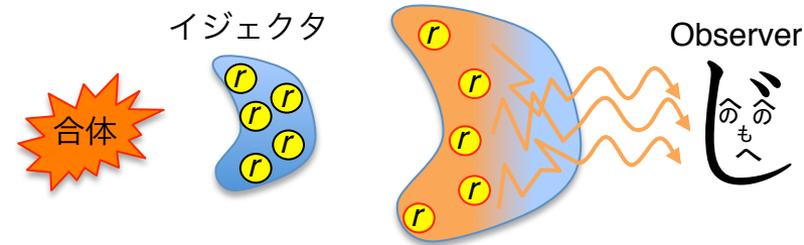
$L \sim 4 \times 10^{40}$  erg/s,  $T \sim 2000$  K

$\Rightarrow v \sim 0.1c$

# Macronovaのエネルギー源: *r*-process元素の崩壊加熱?

*r*-processモデル Li&Paczynski98, Kulkarni05, Metzger+10

中性子過剰イジェクタ  
=> *r*-process元素合成  
=> 放射性崩壊し加熱



\*タイムスケール=光子の拡散時間:  $t_{\text{diff}} \propto \sqrt{\frac{\kappa M}{c\nu}}$  Arnett80, 82

\*光度 => イジェクタ質量:  $M$  => オパシテイ:  $\kappa$

GW170817

**Blue MN**  $M \sim 0.02 M_{\text{sun}}$   
 $\kappa \sim 0.1-1 \text{ cm}^2/\text{g}$

**Red MN**  $M \sim 0.03 M_{\text{sun}}$   
 $\kappa \sim 1-10 \text{ cm}^2/\text{g}$



*r*-process元素合成

- \*イジェクタ質量が多い?
- \*event rate:  $\mathcal{R} \simeq 1540_{-1220}^{+3220} \text{ Gpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$   
=>重元素のsolar abundance?
- \*abundance patternは?
- \*MNに多様性がある? Gompertz+17

他のMN駆動機構はないか?

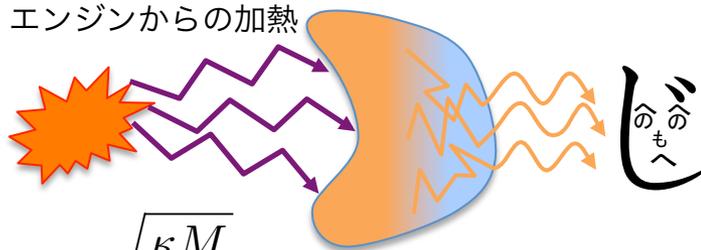
# Macronovaのエネルギー源: 中心エンジンからの加熱? 1

## エンジンモデル

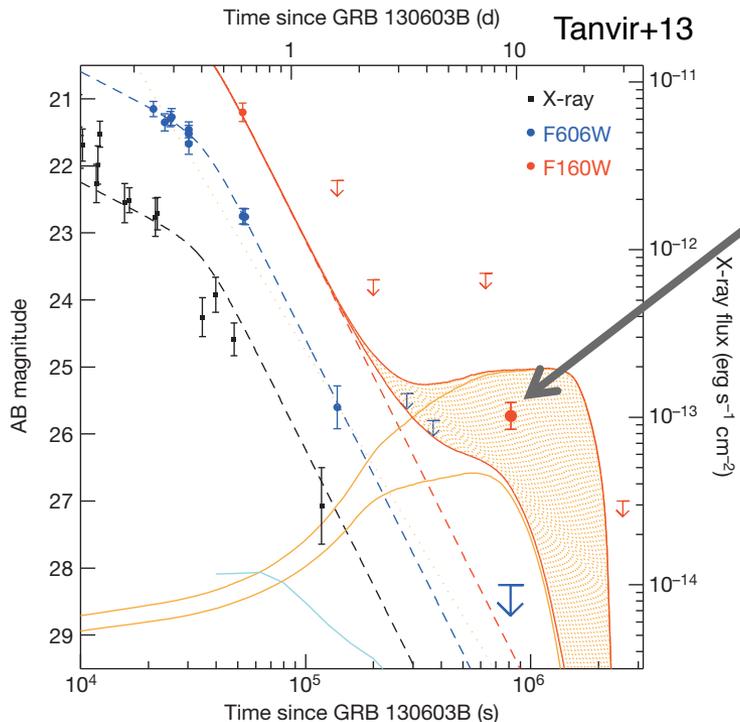
中心エンジンからエネルギー注入

\*タイムスケール=光子の拡散時間:

エンジンからの加熱



$$t_{\text{diff}} \propto \sqrt{\frac{\kappa M}{c v}}$$



## sGRB130603Bの近赤外残光

標準残光理論からexcess (@~7day)

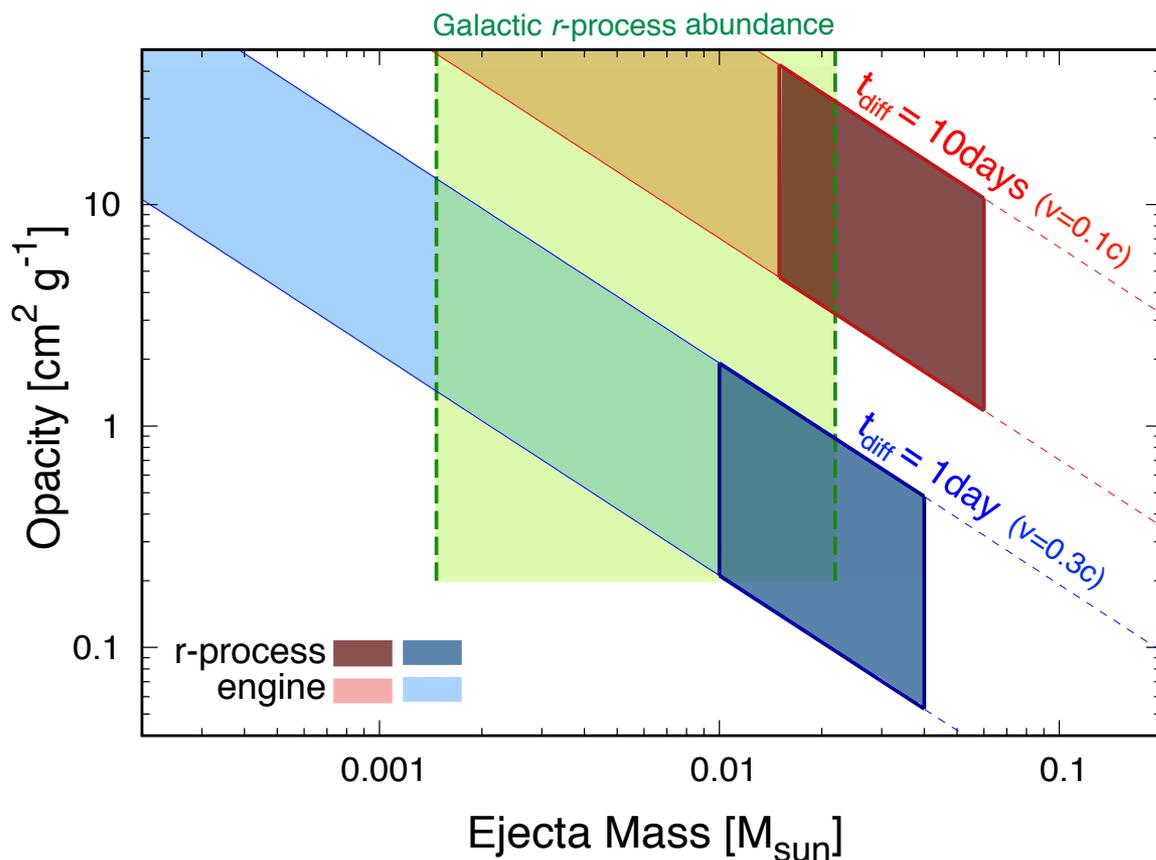
- \*r-processモデルで説明できる Tanvir+13, Berger+13, Hotokezaka+13,
- \*中心エンジンからのエネルギー注入でも可能
- e.g., ジェット: prompt, extended, plateau Kisaka+15
- \*X-ray excess  $L_X \sim L_{\text{IR}}$  Fong+14
- =>X線の吸収・再放射でも可能 Kisaka+16

GW170817では

エンジンモデルは観測を再現できるか?

# Macronovaのエネルギー源: 中心エンジンからの加熱? 2

\*タイムスケール=光子の拡散時間:  $t_{\text{diff}} \propto \sqrt{\frac{\kappa M}{c\nu}}$



\*観測=> $\kappa M$

$M$ は制限されない

=>r-processモデル

\*幅広いパラメータ  
が許容される

[連星合体のシナリオで  
観測を説明できる

エネルギー注入機構は?

# 全て中心エンジン駆動の場合

## ①ジェット=>コクーンを加熱

Ioka&Nakamura17, Piro&Kollmeier+17

\*One-zoneモデル Arnett80, Matsumoto+16

$$L(t) = \frac{E_{in} t_{in}}{t_{diff}^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2t_{diff}^2}\right)$$

\*注入されるエネルギー: $E_{in}$  & 時間: $t_{in}$

$10^{50-52}$  erg & 1 s : Prompt 放射

$10^{48-51}$  erg &  $10^2$  s : Extended "

$10^{47-51}$  erg &  $10^{4-5}$  s : Plateau "

Kisaka+17

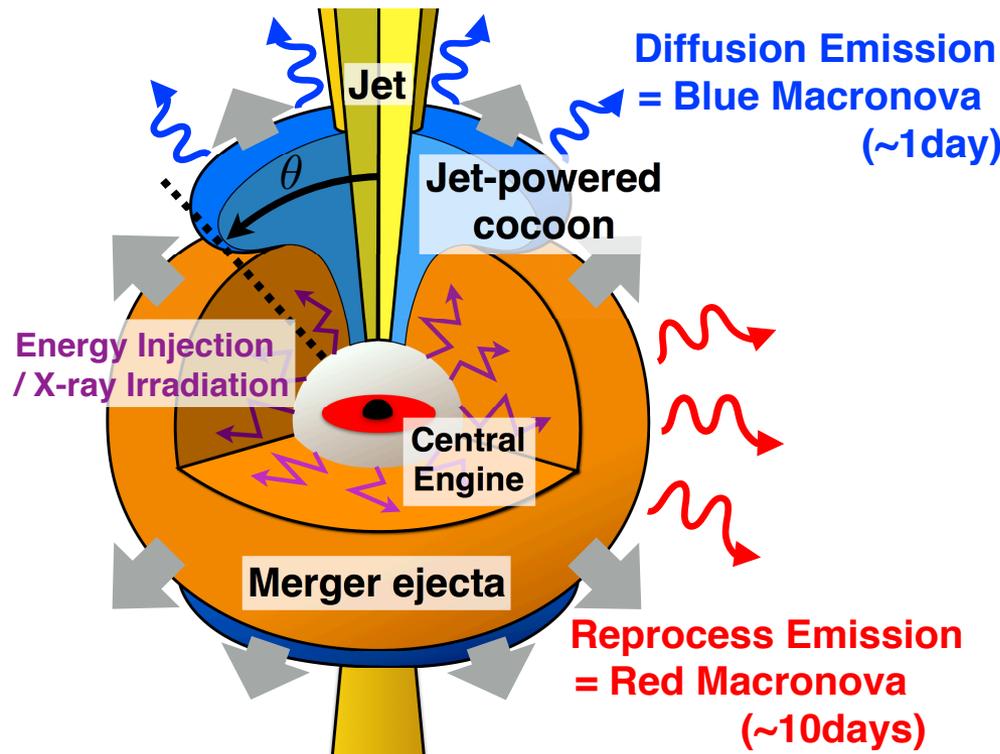
## ②X線照射=>吸収&再放射

\*  $L(t) = L_X(t) \propto t^{-\alpha}$  :  $t_{diff} < t < t_{thin}$

イジェクタがopt thinになるまで

黒体として計算

\*  $\rho \propto v^{-\beta}$   $3 \lesssim \beta \lesssim 4$  Hotokezaka+13  
Nagakura+14

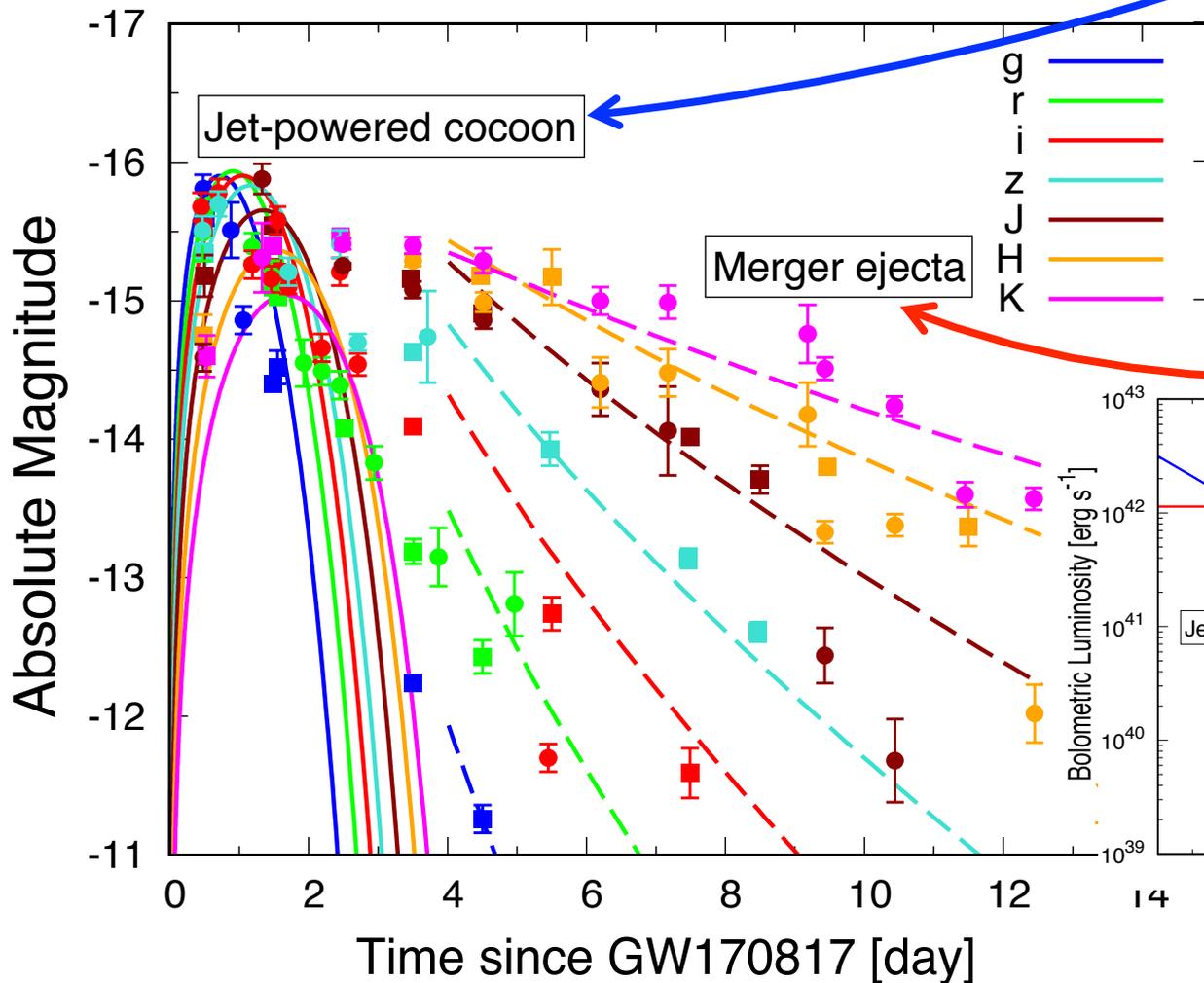
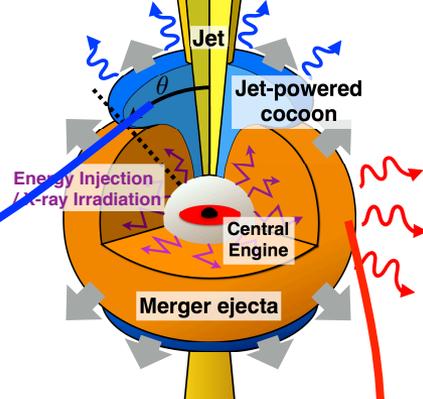


# 光度曲線モデル

$$\kappa M = 0.0025 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} M_{\odot}$$

$$E_{\text{in}} t_{\text{in}} = 10^{52} \text{ erg s}$$

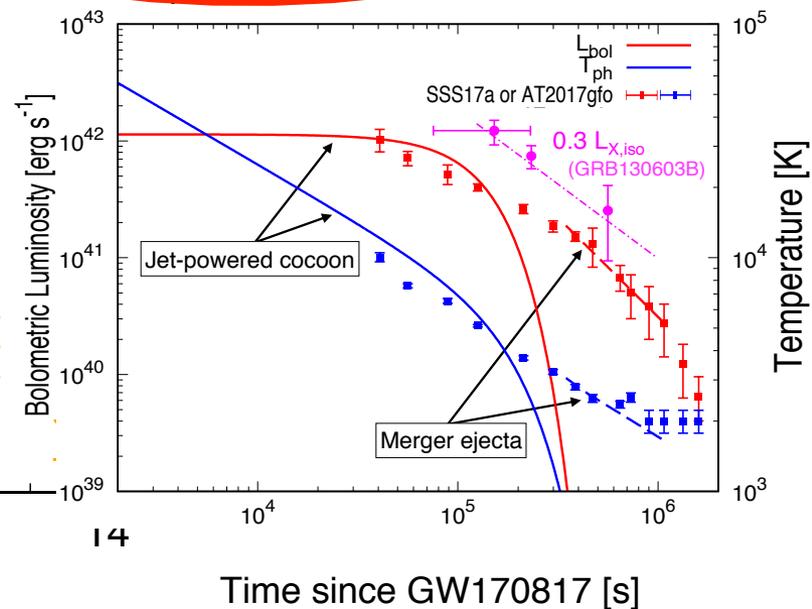
$$v = 0.3c$$



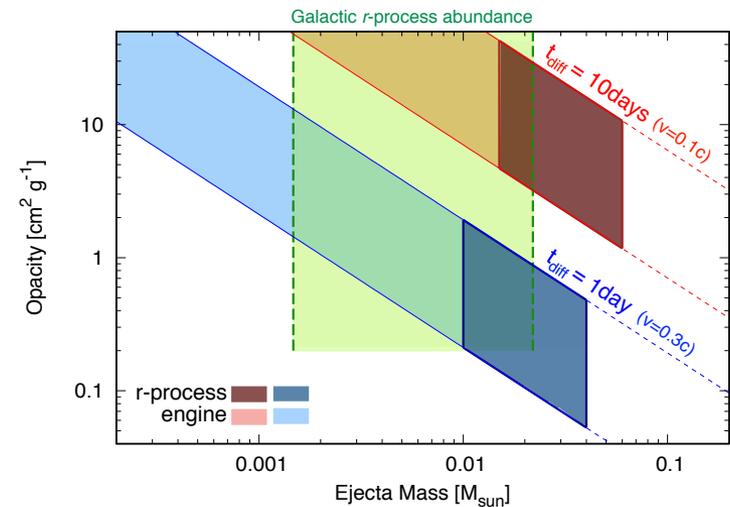
$$\kappa M = 0.1 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} M_{\odot}$$

$$L_X(t) = 2 \times 10^{42} \left( \frac{t}{\text{day}} \right)^{-1.7} \text{ erg s}^{-1}$$

$$0.1c < v < 0.4c$$



# 議論 & 展望



- $r$ -process or エンジン?  
=> early & late timeの観測で区別できないか?
- MN光度とジェットに関係はあるか?
- エンジンモデルでも  $r$ -process元素は必要そうだ  
=> Red MNのtimescale
- 今後、観測数が増えていくと分かるだろう

# まとめ

- GW170817 + Macronova(MN)
- r-process以外にMNを駆動できるか?  
=> 中心エンジンの活動
- $\kappa M$ が制限される => 許容される $M$ の範囲:大
- 中心エンジンからのジェット、X線照射  
=> 光度曲線を再現できる
- 区別するには?  
今後の観測、特に早期・後期の振る舞いなどに注目